

今回の海外渡航では、45日間という短期間ではありますが、滞在箇所を一カ所に固定し、受け入れ先の研究陣と行動を共にすることによって、米国大学における研究活動をつぶさに調査することができました。今回の渡航では、先方の博士課程の学生（二人）と修士課程の学生（一人）に密着することができました。それぞれの学生さん達の研究に取り組む姿勢は真剣そのものであり、いつも学生同士で研究に関する議論をしていました。たまたまデバイス研究室の学生構成が修士課程と博士課程だけという環境だったことも差し引いても、日本の大学院生とは随分と違うと感じました。アメリカでは成果を出せばそれに対して報酬が良くなるという制度が徹底しているため、学生と言えども一研究者として自身を主張していく姿勢が身に付いているように感じます。また、研究を進める上で圧倒的なファシリティーが数多くあり、それぞれの装置を専門とする研究スタッフ（訪問先では博士課程の学生）がついているため、手軽に高度な解析ができるという環境も見逃せません。

また、ファシリティーが豊富であるだけでなく、一つ一つの装置の設計が巧みになっていることも驚きま

した。私が実験を行った装置には、MBE成長室だけでなく、その場オージェ分光装置（AES）ならびにフォトン分光装置（PEEM）が装備されていました。これらの装置は、作製したサンプルのその場分析装置として利用することもできるし、一方でそれぞれを独立した評価や装置として使うこともできます。一見、当たり前のことのようにですが、実際にGaN/AlNサンプルを作製している傍らで、別の二つの研究グループがAESとPEEMでそれぞれのサンプルの評価測定を同時進行させている場面は、驚嘆してしまいました。これほど利便性の高い設計を施された装置を、ごく普通に使いこなしている。お互いに干渉せずに作業を進められるので、マシンタイムの節約にもなるし、研究グループ間の議論も当然のように盛んに行われます。また、装置を使いこなす上でのノウハウもスムーズに伝達されますから、お互いの実験精度が飛躍的に向上します。これらの体験は、自分の研究を進める上で、研究テーマならびに研究の方法という両方の観点から、大変参考になりました。

連絡先：nohshima@materia.amse.yamaguchi-u.ac.jp

1.6.2 次世代波長変換結晶開発に関する調査研究

派遣教官：小松 隆一 山口大学工学部・機能材料工学科・助教授

派遣期間：平成12年7月25日から10月5日まで

派遣機関：オランダ・ナイメーヘン大学、ドイツ・マックスボルン研究所、ブルガリア・科学アカデミー

VBLの海外研究開発動向調査により、7月25日より10月5日まで、オランダ・ナイメーヘン大学の固体化学研究室（7/26-9/29）、ドイツ・マックスボルン研究所（8/15-22）、ブルガリア・科学アカデミー（9/30-10/3）を訪問した。

本研修の目的は、紫外波長変換結晶の調査である。携帯電話基板の微細加工、Siウエハのステッパー光源等に低コスト、高信頼性、メンテナンスフリーの紫外固体レーザーが注目されているが、この工業用の高出力紫外固体レーザー研究の大きなターゲットは、紫外域での波長変換結晶開発である。現在使用可能な紫外波長変換結晶には、 BaB_2O_4 (BBO) (Chen, 中国)、 $CsLiB_6O_{10}$ (CLBO) (佐々木, 阪大)と $Li_2B_4O_7$ (LB4) (小松)があるが、工業用の高出力紫外固体レーザーには、これらの結晶では未だ十分でなく、世界中で結晶探索が行われている。そこで本調査では、高品質結晶成長の研究と調査(ナイメーヘン大学)、紫外波長変換結晶の調査(マックスボルン研究所)及び短波長の光学窓である CaF_2 の調査(ブルガリア科学アカデミー)を行った。

ナイメーヘンは、アムステルダムから東に、電車で1時間程度の距離で、ドイツと国境を接している静か

な町であるが、NEC・東京エレクトロン等の日本の会社も進出している。ナイメーヘン大学の固体化学研究室は、Bennema、Vlieg、Enckevortを擁し、ヨーロッパの結晶成長の理論、実験の中心の1つである。Bennema先生は、2年前に退官したが、今でも成長の理論プロジェクトを組織しているので、週に1、2回出校して、各結晶方位での過飽和度と成長速度の関係を計算し、ポスドクの学生の実験、計算を指導している。現在の興味は、日本では余り活発ではないが、有機物結晶の結晶成長で、医薬品、波長変換結晶への応用からも、市場は大きく伸びるとのことである。そのためユニバー等の乳製品の会社等から研究生が来ていた。実際の有機物の育成で興味深かったのは、中国から来ていたProf. WuさんのADPの育成であった。単純なガラスビーカーの育成容器であったが、大変参考になった。来年度よりこちらでも育成容器を作って、有機結晶の育成を開始したい。Prof. Vliegは、Bennemaの後任で、RHEEDの振動を解析した先駆者の1人である。今の仕事は、放射光を用いた結晶表面の解析で、波長変換結晶KDPの成長メカニズムの解析を終わり、Prof. Wuが作ったADPを解析中である。放射光の施設は、ベルギーにあるので、月に半分は出張であった。Dr. Enckevort(写真-1参照)は、表面観察では著名な研究者

で、ダイヤモンド、AFM等と広い分野に精通している。私は、彼と一緒に、非線形結晶であるが最近弾性表面波結晶として優れていることが報告された KNbO_3 の水溶液からの成長実験を行い、結晶の成長メカニズムを検討した。その結果、 KNbO_3 の成長は、今まで言われたような構造変化による成長でなく、原料が一旦解けて溶液が KNbO_3 に過飽和になったことによる自然核形成による成長であることが判った。SEMで見ると直方体の結晶が観察され、AFMでこの結晶面の表面を観察して、成長ステップの大きさから溶液中のクラスターの大きさを推定することを、現在共同で行っている。今回の実験で、初めて水溶液から自然核形成により KNbO_3 が成長することが明らかになったことは、エピタキシャル成長の可能性を示唆するので、弾性表面波素子等の色々な応用上の見地から、大変有利なことである。今後も共同での研究を推進していきたいと考えている。

マックスボルン研究所は、ベルリン南西の旧東ドイツのサイエンスパークにある。ベルリンは今空前の建設ラッシュだが、このサイエンスパークも広大な面積を整備中であるが、訪問の度に入居している会社が著しく増えており、ドイツの繁栄が感じられる。この研究所は、光学の研究で有名なマックスボルンの名前を冠した研究所で、所員100人程度の小さな研究所であるが、研究分野は短パルス短波長レーザーに特化しているもので、その分野では著名な研究者が多く、ベルリン工科大学、フンボルト大学の教授を兼務している主任研究員も多く、またこれらの大学の博士課程学生を受け入れている。私は、四ほう酸リチウムの紫外非線形特性の発見を論文にした時に、ここの副プロジェクトリーダーの Dr. V. Petrov氏(写真-2参照)から共同研究の申し出があり、その縁で共同研究が始まり、四ほう酸リチウムを用いて当時としては最短波長の170nmの発生、非臨界位相整合によるCW244nmの発生を行い、特許・論文を出すことが出来た。山口大学に移った昨年度からも、波長変換による紫外発生の共同研究を行い、その成果はIEEE, Quantum Electronicsに掲載された。今回の訪問で4回目であるが、今回は、新結晶の評価

打ち合わせと非臨界位相整合での積み残しの実験を行った。また市場調査では、四ほう酸リチウムの特性に注目し、この結晶の育成と販売をドイツとロシアの会社が始めたとのことであった。ヨーロッパでの四ほう酸リチウムの特許は、未だ成立していないが、これらの会社の活動が、今後この結晶の拡販に繋がることを期待する。またBBOを開発したProf. Chenからの話し(Chen先生もDr. Petrovと共同研究をしている)として、今後最短SHG波長が200nmの波長変換結晶、赤外領域の差周波用結晶の開発が注目されるようであるとのことであった。さらに週末に家に招いてもらい、ドイツのレーザー会社の人々も紹介してもらい、日本では到底得られない情報源を持つことが出来た。今後も共同研究を行い、成果を上げていきたいと考えている。

紫外レーザーの窓材も、紫外レーザーの信頼性向上の大きな要因である。窓材としては蛍石(CaF_2)が広く用いられているが、ブルガリアはこの CaF_2 原料の供給地であり、高品質原料を用いた CaF_2 育成の論文があったので、ブルガリア科学アカデミーを訪問した。元々この CaF_2 結晶は赤外線暗視カメラのレンズとして軍用に使われていたものであり、紫外用としては念頭にならないうであった。この CaF_2 結晶は、縦型ブリッジマン法により育成されるが、ソ連崩壊による東欧諸国の混乱は、ブルガリアでも激しく研究は数年前より停止したままである。しかし高純度原料を使えることは高品質化に大きな強みなので、育成した結晶ウエハを貰って、現在日本の光学会社でその紫外領域での評価を行っている。評価が良ければ、かれらの CaF_2 販売が可能になると思われる。

本調査により、紫外波長変換結晶の開発に必要な、結晶成長のメカニズム、紫外波長変換結晶の動向等を自分なりに把握することが出来、今後の研究活動に良い結果を及ぼすことと期待している。最後に今回の調査に際して、色々お世話になりましたVBLの関係各位に御礼を申し上げます。

連絡先：r-komats@po.cc.yamaguchi-u.ac.jp



写真1 Dr.Enckevort

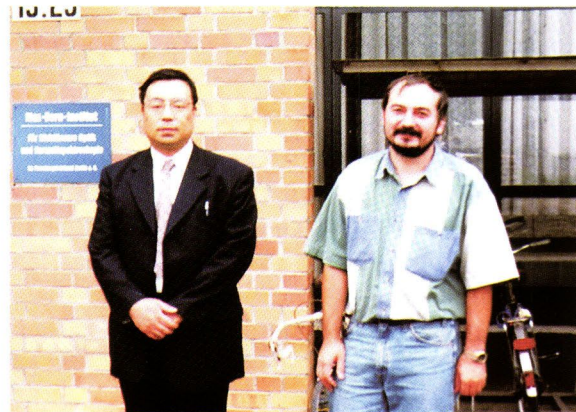


写真2 Dr.Petrovと著者